

# Chemie ist Leben – (über)lebt die Chemie?

Klein, Joachim

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 2002 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.29-40



J. Cramer Verlag, Braunschweig

PROF. DR.RER.NAT. JOACHIM KLEIN

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

## **Chemie ist Leben – (über)lebt die Chemie?**

Braunschweig, 10.01.2002\*

„Chemie ist Leben“ – unter dieses eingängige Motto hat die Chemische Industrie auf der EXPO 2000 in Hannover die Sympathiewerbung für ihre Sache, die Chemie, gestellt. In einer Art „Geisterbahn“ wurden die Besucher mit einer Reisezeit von wenigen Minuten über Schautafeln und Schaubilder mit den Leistungen der Chemie für das Leben konfrontiert:

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| – Arzneimittel                    | retten das Leben und verbessern die Lebensqualität         |
| – Dünge- und Pflanzenschutzmittel | sichern die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung     |
| – Synthefasern                    | der Stoff, aus dem unsere Kleider sind                     |
| – Farben                          | liefern Qualität und Lebensfreude und schützen vor Verfall |
| – Kunststoffe                     | die Werkstoffe des 20. Jahrhunderts                        |

Welcher vernünftige Mensch würde auf eine dieser Leistungen für sein Leben verzichten wollen – und dennoch dieser millionenschwere Werbeaufwand, um einige Hunderttausend der EXPO-Besucher positiv auf die Chemie einzustimmen?

Es gab durchaus gute Gründe für den Versuch, denn es ist jedermann offensichtlich, dass die Chemie – vor allem in Gestalt ihrer Industrie – Probleme hat: Die Chemie stimmt nicht mehr – zwischen einer Industriebranche und den Menschen, die deren Leistung bedürfen und gern in Anspruch nehmen. Dieser Industriezweig steht vielmehr im Verdacht der Umweltverschmutzung und der Gesundheitsschädigung: Es ist ein schlimmes Urteil für ein Lebensmittel, wenn es heißt: „Da ist Chemie drin!“ Seveso ist inzwischen überall, zumindest in den Köpfen, und dies weltweit, so auch in Deutschland.

Dabei hat alles einmal so gut angefangen:

Auf der Basis einer neuen blühenden wissenschaftlichen Disziplin, der Chemie, und im Verbund mit tatkräftigen Unternehmern entstand ab 1850 ein Industriezweig, der in vielen Produktbereichen in der Welt führend war und zum stolzen Wahrzeichen deutscher industrieller Leistungsfähigkeit wurde. Auch wenn die Verwicklung der IG-Farben in die Kriegswirtschaft einige dunkle Schatten warf, so waren auch die Nachkriegsjahre, vor allem in Gestalt der großen IG-Farben-Nachfolger, durch das Motto „Blühen, Wachsen und Gedeihen“ gekennzeichnet, zumindest soweit es um die wirtschaftlichen Ergebnisse und die Schaffung und Sicherung hunderttausender qualifizierter Arbeitsplätze ging. Die chemische Industrie zählt nach wie vor zu den Vorzeigebereichen und Kernelementen der deutschen Volkswirtschaft und ihrer Wirtschaftskraft.

---

\* Vortrag gehalten anlässlich der Neujahrssitzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Warum dann diese Vertrauenskrise und dieser Image-Verlust? Es steht heute außer Zweifel, dass die Produktion und einige Produkte der chemischen Industrie unsere Umwelt und die Menschen zeitweise erheblich belastet haben. Hinzu kamen und kommen spektakuläre Unfälle, die Dank einer allgegenwärtigen Publizistik weltweite Verbreitung erfahren. Das mit dem Wohlstand steigende Umweltbewusstsein hat neue Werteordnungen geschaffen, die sich überwiegend zum Nachteil der Chemie bemerkbar machten. Stichworte wie Seveso, Dioxin, Contergan stehen symbolhaft für das Unbehagen, das viele Menschen heute – bewusst oder unbewusst – mit dem Wort Chemie verbinden: „Chemie *gegen* Leben“. Dabei gibt es dann kaum wieder einen Industriezweig, der sich – auch aufgrund seiner Kompetenz – so konsequent und erfolgreich für die Belange des Umweltschutzes eingesetzt hat. Dies kann er mit eindrucksvollen Fakten und Zahlen belegen. Wer mit dem Zug von Frankfurt kommend kurz vor Mannheim das Werksgelände der BASF am gegenüberliegenden Rhein-Ufer überschaut, wird statt ehemals brauner und schwarzer Rauchfahnen nur noch weiße Dampfwölkchen erkennen. 20 Mrd. DM Investitionen seit 1985 und 7 Mrd. DM Betriebskosten pro Jahr für den Umweltschutz haben ihre objektiven Erfolge gebracht – aber das subjektive Vertrauen der Verbraucher bislang nicht zurückgewinnen können. Hat da die EXPO geholfen, konnte sie überhaupt helfen?

Und der Industriezweig, den wir bislang als „die Chemische Industrie“ bezeichnen, beschreitet interessanterweise inzwischen neue Wege, und zwar weltweit: Man trennt sich von der „Chemie“. Die Integration verschiedenster Produktionsbereiche der anorganischen und organischen Technologie in einem stofflichen und energetischen Verbund gehörte über viele Jahrzehnte zum Erfolgskonzept der chemischen Industrie. Die großen Chemie-Komplexe in Ludwigshafen, Leverkusen, Leuna, Dupont/Delaware etc. sind das Abbild dieser Entwicklung. An der Spitze der Unternehmen standen traditionell Chemiker, und das Denken in chemischen Zusammenhängen war wesentlicher Teil der Unternehmensstrategie und –konzeption. Karl Winnacker, der sich seinem Studienort Braunschweig sein Leben lang verbunden fühlte, war als Chef der Höchst AG 1950 bis 1965 eine dieser herausragenden Persönlichkeiten. Inzwischen haben Manager der Finanzwelt die Firmenregie übernommen, und fünf Jahre zwischen 1995 und 2000 haben genügt, den Standort Höchst auf der Chemielandkarte geographisch und organisatorisch zu löschen: Nach dem Verkauf aller „Chemie“-Aktivitäten verblieb ein ehemals integrierter, nun selbständiger Bereich Pharma, der mit dem französischen Pharma-Partner Roussel-Uclaf fusionierte, sich den neuen klangvollen Namen „Aventis“ gab und seinen Firmensitz in Straßburg wählte: Das Ziel der Gründung eines allein den „Life Sciences“ verpflichteten Konzerns mit hohem Börsenpotential war erreicht: Dass die Prozesse und Produkte dieser „Life Science“-Strategie nach wie vor hauptsächlich chemischer Natur sind, gerät bei dieser Diktion wunschgemäß in den Hintergrund: Life Science Industry – auch eine Problemlösung unter dem Motto „Chemie ist Leben“?! Das Schicksal der Höchst AG ist, wie gesagt, kein Einzelfall. Beispiele, wie sich die aus der Chemie erwachsenen Pharmazeutischen oder Fein-Chemischen Produktionsbereiche der „Chemie“ entledigen, gibt es viele: Die Nennung von Namen wie Monsanto, ICI und Henkel, mag da genügen.

Die Bindung zwischen der akademischen wissenschaftlichen Forschung und der Industrie war in der Chemie traditionell eng und wechselseitig produktiv. Gerade auch ange-

sichts der skizzierten industriellen Neustrukturierung stellt sich daher auch die Frage nach dem Stand und Selbstverständnis der Chemie im Wissenschaftsbetrieb heute. Das betrifft vor allem die Universitäten. Unter einer weitgehend ruhigen Oberfläche sind durchaus Strömungen zu erkennen, die einen Ablösungsprozess in der Chemie in ihrem bisherigen Selbstverständnis bedeuten. Das geht einerseits in Richtung Biologie, andererseits in Richtung Materialwissenschaft mit Schwerpunkt Mikroelektronik. Als Beleg dafür kann ich die Umbenennung von „Departments of Chemistry“ in „Departments of Biological Chemistry“ an führenden Hochschulen der USA, die Einrichtung von Schwerpunkten für „Biomolekulare Chemie“ oder Materialwissenschaften in chemischen Fachbereichen bis hin zu Fakultäten für „Materialwissenschaften“ mit starken chemischen Inhalten oder Studiengängen für „Molekulare Biotechnologie“ nennen. Von der „Biomolekularen Chemie“ zur „Molekularen Biologie“ – so der Name eines Instituts in Jena – ist dann der Weg nicht mehr weit. Wenn die Biologie die Wissenschaft des Lebens ist, so wäre die Entwicklung der Chemie zur chemischen Biologie nur eine andere Formulierung des Mottos „Chemie ist Leben“.

Teil des Problems ist der Status der Chemie aus der Sicht der Kultusbehörden, der Schüler und ihrer Eltern, wenn es 1. um die Rolle der Chemie im Bildungsangebot der Schulen und danach 2. um die Nachfrage nach Studienplätzen in der Chemie geht. Dass hier Nachwuchssorgen bestehen, ist kein Geheimnis, auch dabei ist im Wettbewerb um die hellsten Köpfe die Biologie ein starker Konkurrent.

Alles in allem wollte ich Sie mit den bisherigen Ausführungen mit Fragestellungen konfrontieren, die in der einen oder anderen Weise die Chemie heute betreffen und zumindest die Frage erlauben, ob sich die Chemie nicht in einer Krise – vielleicht sogar Existenzkrise – befindet: Daher die Titelfrage: Überlebt die Chemie?

Justus von Liebig, einer der ganz großen unserer Wissenschaft, wählte interessanterweise ab 1844 die „Augsburger Allgemeine Zeitung“, um seine „chemischen Briefe“ an eine breitere Öffentlichkeit – heute würden wir sagen: die Gesellschaft – zu richten: Seine „Botschaft“ im ersten Brief lautete u.a. wie folgt: „Möchte es mir in diesem ersten Briefe gelingen, die Überzeugung zu befestigen, daß die Chemie als selbständige Wissenschaft eines der mächtigsten Mittel zu einer höheren Geisteskultur darbietet, daß ihr Studium nützlich ist, nicht nur insofern sie die materiellen Interessen der Menschen fördert, sondern weil sie Einsicht gewährt in die Wunder der Schöpfung, welche uns unmittelbar umgeben, an die unser Dasein, Bestehen und unsere Entwicklung aufs engste geknüpft sind.“ Soweit Justus von Liebig.

Unterstellt, wir hätten heute einen Autor von vergleichbarem Renommee, würden die Hannoversche Allgemeine Zeitung (HAZ) oder die Braunschweiger Zeitung (BZ) ihm den Raum für seine Briefe geben – und was würde er sagen wollen?

Dazu gäbe es drei Ansätze

1. Die Besinnung auf die Geschichte der Chemie als eine der großen Kulturleistungen der Menschheit,
2. die Dokumentation des Leistungsvermögens der Chemie durch Präsentation eindrucksvoller konkreter Beispiele sowie

3. die Diskussion der Fragestellungen und Herausforderungen, denen sich die Chemie als lebendige und selbstbewusste Wissenschaft in der Zukunft stellen sollte.

In dieser Abfolge möchte auch ich Ihnen gegenüber heute Position beziehen.

### **Zum ersten: Die Geschichte der Chemie**

Die Geschichte der Chemie spiegelt eine der großen Kulturleistungen der Menschheit wider. Menschen aller Kontinente von Afrika über Asien und Europa bis zu Amerika haben dazu epochale Beiträge geleistet – das Stichwort „Globalisierung“ ist für die Chemie wahrhaft nicht neu. Die Chemie ist dabei allen Fragen zugewandt, die sich mit den Eigenschaften, der Zusammensetzung und Struktur sowie der Umwandlung von Stoffen befassen. Dabei dient die Analyse der Aufklärung von Zusammensetzungen und Strukturen, während die Synthese den Aufbau der Stoffe durch Zusammenfügen verschiedener Bausteine verfolgt.

In ihrer zehntausendjährigen Geschichte gab es Phasen unterschiedlicher Produktivität. Zu den frühen Phasen der Kulturgeschichte war es die anonyme Leistung von Völkern und Regionen, welche z. B. keramische und metallische Werkstoffe neu verfügbar machte: Ziegel, Kalk, Kupfer, Bronze, Eisen, Gold, Blei und schließlich ca. 1500 v. Chr. das Glas. Aber auch der gezielte Umgang mit organischen Naturstoffen gelang und führte zu Prozessen der alkoholischen Gärung, der Gerberei, des Färbens. Damit eilte die Beherrschung eigentlich komplexer Prozesse der Stoffumwandlung der Einsicht in die stofflichen Zusammenhänge und den Prozessverlauf weit voraus – ein Sachverhalt, der die Entwicklung der Chemie als vorwiegend empirische Wissenschaft entlang ihres Lebensweges bis heute prägt:

- Der Entdeckung des Benzols durch Faraday 1825 folgte erst 1865 der Strukturvorschlag von Kekulé: das Molekül als Ring, ein konzeptioneller Durchbruch zur modernen organischen Chemie
- Der ersten industriellen Produktion von Kunststoffen 1846 (Nitrozellulose) folgte erst 1926 die Erkenntnis der Existenz makromolekularer Stoffe

Den großen griechischen Denkern Leukipp und Demokrit (ca. 450 v. C.) verdanken wir die ersten frühen Beiträge zum Verständnis der Struktur der Materie im Sinne einer Atomtheorie. Wenn auch durch die vier Begriffe Wasser, Luft, Erde, Feuer vorerst falsch besetzt, wurde doch durch Empedokles und Aristoteles das Konzept der Elemente als Grundbausteine der stofflichen Welt geschaffen (350 v. C.). Für fast 2000 Jahre versank dann die wissenschaftliche Chemie im Dunkel der Mystik und Scharlatanerie der Alchemie, der wir allerdings auch manche stofflichen Entdeckungen – wie die Existenz von Säuren und Laugen, den Umgang mit Stoffen in Retorten und Tiegeln sowie mit der Destillation eine durchaus nützliche Technik und die Entdeckung des reinen Alkohols – verdanken.

Im 17. Jahrhundert finden wir endlich den Aufbruch in die wissenschaftliche Chemie der Neuzeit mit der Wiederbelebung der Atom- und Element-Konzepte durch Boyle und Newton. Im 18. Jahrhundert gelang vor allem erstmals die Herstellung von Elementen wie Schwefel (Scheele 1771), Sauerstoff (Rustley), Stickstoff (Rutherford 1772), Wasserstoff

(Cavendish 1778), die ersten einfachen Synthesen – bezeichnenderweise  $\text{H}_2\text{O}$  aus  $\text{H}_2 + \text{O}_2$  – sowie durch Lavoisier der Einstieg in die quantitative Analyse und die Aufklärung des Verbrennungsprozesses (1783) – fast 100 Jahre nach Formulierung der Phlogiston-Theorie (1697).

Das Verständnis über Aufbau und Reaktionen der anorganischen und organischen Materie entwickelt sich im 19. Jahrhundert explosionsartig. Hierzu gehören die Beiträge von Dalton, Berzelius, Kekulé, Frankland, van't Hoff und LeBell zu Konzepten der Bindungsstruktur, des sequentiellen und räumlichen Aufbaus von Molekülen (Stereochemie), zur Isomerie etc. sowie auch die Ordnung der Elemente im Periodischen System (1869) durch Meyer und Mendelejew.

Parallel entwickelt sich eine immer anspruchsvoller werdende Synthese-Chemie, für welche Namen wie Wöhler, A.W. Hofmann, Kolbe, Perkin, Liebig, A. v. Baeyer stellvertretend genannt seien. Historisch besonders bemerkenswert scheint mir der Beitrag von Wöhler, dem es 1828 gelang, den organischen Stoff Harnstoff durch thermo-chemische Umwandlung aus einem anorganischen Stoff – dem Ammoniumcyanat – zu gewinnen, und damit die lange gesuchte Brücke zwischen einer anorganischen und einer organischen stofflichen Welt zu schlagen: Es bedurfte also keiner speziellen „Lebenskraft“, um organische Stoffe zu synthetisieren – und es war bewiesen, dass Struktur und Eigenschaft eines Stoffes unabhängig vom Syntheseweg sind.

Am Beginn des 20. Jahrhunderts angekommen, registrieren wir eine Chemie, die sich in Wissenschaft und Wirtschaft in vollster Blüte befindet und 1901 durch den 1. Nobelpreis für Chemie an den in Berlin lehrenden Holländer van't Hoff geadelt wird. Und dann gab es weitere bahnbrechende, teilweise revolutionäre Impulse, die für die Chemie des 20. Jahrhunderts bestimmend werden sollten:

- An erster Stelle steht die Entwicklung neuer, bis heute im wesentlichen gültiger Vorstellungen zum Aufbau der Atome und Moleküle, welche wir Rutherford und Bohr – der von Planck und Einstein geschaffenen Quantenphysik folgend – verdanken. Dies war der entscheidende Durchbruch zur modernen theoretischen Chemie.
- Zum zweiten verbinden wir mit dem Namen Ernst Fischer und seinen Arbeiten zur Chemie der Eiweiße und Kohlenhydrate den Aufbruch in die Chemie komplexer Naturstoffe, welche in der Folge der Jahre durch viele brillante Beiträge zur Aufklärung der Struktur und zur Totalsynthese das Bild der Chemie bis heute stark geprägt hat.
- Zum dritten verdanken wir Hermann Staudinger die Pionierarbeiten, mit denen er gegen den heftigsten Widerstand prominenter Zeitgenossen die Existenz makromolekularer (Natur)-Stoffe beweisen konnte. Damit war der Weg frei für den Siegeszug der synthetischen Kunststoffe, die aus unserer privaten und technischen Welt nicht mehr fortzudenken sind.
- Zum vierten hat das 20. Jahrhundert unsere Kenntnis vom Aufbau der Materie, gespiegelt an der Kenntnis der Welt der Atome, in zweifacher Weise fundamental erweitert: Zum einen gelang es – allen voran Glenn Seaborg – das periodische Sy-

stem der Elemente über das Uran (Nr. 92) hinaus auch durch gezielte Synthesen zu erweitern, inzwischen wurde das Element Nr. 118 synthetisiert. Zum anderen wurde mit der Entdeckung der Kernspaltung des Urans durch Hahn, Strassmann und Meitner eine Entwicklung eingeleitet, die wie keine andere die Ambivalenz naturwissenschaftlicher Entdeckungen in ihrer Auswirkung auf die Welt dokumentiert.

- Schließlich, und das zum fünften, erhielt die Entwicklung der industriellen Chemie neue Schubkraft durch epochale Beiträge zur chemischen Katalyse, welche durch die Namen

Haber und Bosch  
Fischer und Tropsch sowie  
Ziegler und Natta

in der Chemiegeschichte verankert sind.

Weil er auch der erste Träger der Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft im Jahr 1949 war, sollten wir das Lebenswerk von Walter Reppe an dieser Stelle nicht vergessen.

Wenn ich damit die Aufzählung von Beispielen zu Fortschritten der Chemie im 20. Jahrhundert und damit das Kapitel *Geschichte der Chemie* beende, so tue ich dies in dem Bewusstsein der zwangsläufigen Unvollständigkeit und damit auch Ungerechtigkeit, die mit einer derartigen Verdichtung einer reichen und wechsellvollen Geschichte auf wenige Minuten verbunden sein muss. Dennoch hoffe ich, dass wesentliche Tatsachen, Strömungen, Konzepte und Erfolge allgemeinverständlich vermittelt wurden und ein faires Bild davon geben, wie Chemie das wurde, was sie heute ist.

### Zum zweiten: Die Chemie im Lichte ihrer Leistungen

Eine andere Art, das Wesen der Chemie verständlich zu machen, besteht darin, einige ausgewählte Fakten zu beleuchten und über die Summe der Glanzlichter – gewissermaßen mosaikartig – ein Gesamtbild zu erzeugen. Begleiten Sie mich bitte auf diese kurze Reise durch die Chemie von „A“ (wie Aspirin) bis „Z“ (wie Zucker).

- (A) **Aspirin** ist das bekannteste und am häufigsten verwendete Medikament der Welt überhaupt. Die Liste der behandelten Erkrankungen umfasst nicht nur Kopf- und Zahnschmerzen, Fieber und Erkältung, sondern auch Rheuma, Herzinfarkt und Schlaganfall. Der von Dr. Felix Hoffmann bei den Farbenfabriken Bayer gefundene Wirkstoff Acetyl-Salicylsäure feierte 1991 seinen 100. Geburtstag: ein Rekord ohnegleichen.
- (A) **Analytik** ist seit jeher eine der Kernkompetenzen der Chemie. Mit ihrer Trennschärfe und ihrer Genauigkeit steht und fällt die Bewertung eines chemischen Experiments.

Auf der Basis optischer (RasterTunnelMikroskop) oder Laser-induzierter Fluoreszenz-Verfahren ist es inzwischen möglich, einzelne Moleküle bzw. Atome zu detektieren. Genauer geht es nicht mehr!

- (D) Düngemittel** sichern die Ernährung der Welt, und Stickstoff, aus der Luft durch Ammoniak-Synthese nach Haber-Bosch fixiert, ist zu 70 % der essentielle Nährstoff. Bei 140 Mio. t Gesamtprodukten (N, P, K) bedeuten dies allein  $\approx 100$  Mio. t  $\text{NH}_3$ /Jahr.

1 kg  $\text{NH}_3$  reicht zur Produktion von 12 kg Getreide, 1 kg  $\text{NH}_3$  erfordert 1 l Erdöl, mit 1 l Erdöl fährt ein Mittelklassewagen 12 km.

- (E) Elektronik** verlangt nach immer neuen Werkstoffen und stößt auf dem Weg der Miniaturisierung zu immer kleineren Einheiten, schließlich einzelnen Molekülen vor: Molekulare Elektronik, d. h. in einem Einzelmolekül realisierte Schaltelemente, wären die Grenze des Erreichbaren. Mit molekularen Drähten aus Kohlenstoff (sog. Nanotubes) und Einzelmolekül-Magneten (deren Magnetismus auf der hohen Zahl ungepaarter Elektronen beruht) sind wichtige Bausteine für diesen Weg verfügbar.

- (F) Farbstoffe** besaßen für die Menschen aller Kulturen eine besondere Faszination: Ultramarin, Purpur, Indigo.

Indigo, vor 5000 Jahren in Indien entdeckt, ist noch heute mit 15.000 t einer der meist verkauften Farbstoffe der Welt – die Blue Jeans fordern ihr Tribut.

Adolf von Bayer gelang 1883 die Strukturaufklärung und 1880 eine Patentanmeldung, den Wettlauf um die erste wirtschaftlich tragfähige Produktion gewann jedoch die BASF 1887.

- (G) Gifte** sind nicht nur die Essenz vieler Kriminalromane, sie stellen gegebenenfalls echte Gefahren, manchmal aber auch nützliche Wirkstoffe dar.

Auch wenn die Chemie den Ruf der „Giftküche“ besitzt, ist sie der Natur weit unterlegen.

An der Spitze der Giftigkeit mit der geringsten letalen Dosierung stehen bei weitem die bakteriellen und tierischen Toxine – Tetanus-Bakterien und Kugelfisch sind die Quelle.

Die Dosis der pflanzlichen (Strychnin) und Pilzgifte (Muscartin) liegt um 3 bis 6 Größenordnungen höher.

Das stärkste Chemie-Gift „Dioxin“ liegt in eben diesem Bereich und zum Zyanalkali sind es noch einmal 3 Größenordnungen. Das „berühmte“ E 605 als synthetisches Chemieprodukt liegt nur im vorderen Feld der pflanzlichen Gifte, aber unterhalb der meisten Pilzgifte.

- (K) Kohlenstoff**, bei weitem das wichtigste Element unserer belebten Welt, existiert inzwischen in 3 Modifikationen: klassischerweise bekannt sind Diamant und Graphit – die gleichzeitig das härteste und das weichste Element unseres Periodensystems repräsentieren.

Mit dem Fulleren  $\text{C}_{60}$  – 60 C-Atome bilden ein Molekül in Kugelform – wurde 1985 eine neue Modifikation entdeckt, die enorme Potenziale, vor allem in der Materialwissenschaft besitzt.



- (K) **Katalyse** ist der Schlüssel zur Beschleunigung und Lenkung der überwiegenden Zahl aller chemischen Reaktionen, sowohl im Laboratorium, ganz dominant in der Industrie. Selektivität und Produktivität sind die Kennworte, wenn es um die Beurteilung ihrer Leistungsfähigkeit geht.

Der Chemie-Nobelpreis 2001 an Sharpless, Noyori und Knowles würdigte deren bahnbrechende Leistung in der Entdeckung stereoselektiver Katalysatoren.

In der Polymersynthese (Polypropylen) gelang es Katalysatoren zu entwickeln, deren Produktivität bei 5 t Polymer pro 1 g Katalysator-Metall, und damit um 3 Größenordnungen oberhalb gängiger Ziegler-Natta-Katalysatoren liegt.

- (N) **Naturstoffe** sind nach wie vor eine unerlässliche Quelle für neue Wirkstoffe: die schnelle Strukturaufklärung und die Totalsynthese auch der komplexesten Strukturen beweisen das Leistungsvermögen der organischen Chemie. Naturstoff-Molekül des Jahres 2000 war das an der GBF in Braunschweig entdeckte Epothilon.

- (P) **Pflanzenschutzmittel** (d. h. Insektizide, Fungizide, Herbizide) dienen der Sicherung und Steigerung des Ertrags von Kulturpflanzen. Bei einem Gesamtumsatz weltweit von ca. 25 Mrd. US \$/Jahr entfallen interessanterweise ¼ auf den Bereich Früchte und Gemüse, weit vor Getreide, Reis und Mais mit jeweils 10 – 15 %.

Die Entwicklungskosten für ein neues Pflanzenschutzmittel sind in den Jahren 1985 bis 1995 von 120 auf 250 Mio. US \$ gestiegen: allein 100 Millionen entfallen auf Prüfungen zum Umweltschutz und zur Toxikologie: überholt der Umweltschutz den Pflanzenschutz? Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Syntheseleistungen der Chemie, diese Hürde überhaupt zu nehmen!

- (V) **Vitamine**, die Wirkstoffe des Lebens, waren für viele Jahre zentrale Objekte der chemischen Forschung. H. H. Inhoffen, der erste Präsident unserer Gesellschaft nach dem Krieg, war mit seinen Beiträgen zur Synthese von Vitamin B und Vitamin D ein hervorragender Repräsentant dieser Arbeitsrichtung. Heute sind 13 Vitamine bekannt, und mit Ausnahme des Vitamin B<sub>12</sub> konnten die Chemiker insgesamt wirtschaftlich tragfähige chemische Synthesen etablieren

Vitamin C mit 60.000 t/Jahr ist eindeutiger Marktführer – und verführt offensichtlich auch zu bußgeldträchtigen Preisabsprachen!

- (Z) **Zucker** ist bei einer Produktion von 120 Mio. t/Jahr eines der größten, nach der Kristallisation reinsten und mit einem Preis von 1,00 DM/kg auch billigsten Chemieprodukte der Natur. Unabhängig von seiner Bedeutung in der Ernährung gewinnt Zucker auch an Bedeutung als Rohstoff für die chemische Industrie: Ersatz von Erdöl durch „Nachwachsende Rohstoffe“ ist das Motto, um auf diese Weise die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Atmosphäre zu verbessern. Neue Waschmittel – Alkylpolyglycoside – die aus Zucker und Kokosöl gewonnen werden und auch biologisch abbaubar sind, stellen ein aktuelles Beispiel dieser „nachhaltigen Chemie“ dar.

### **Zum Dritten: Fragestellung einer Chemie mit Zukunft**

1. Wie wurde Chemie? 2. Was ist Chemie und nun: Was wird aus der Chemie? Dieser
3. Frage wollen wir uns nun abschließend zuwenden.

Dabei geht es nicht um die Frage, ob sich Problemstellungen chemischer Natur in Analytik und Synthese etwa erledigt haben, hier gibt es im Prinzip weiterhin beliebig viel zu tun. Es geht – sagen wir „lediglich“ – um die Frage, ob die Chemie als selbstbewusste Wissenschaftsdisziplin ihre Schwungkraft, Ausstrahlung und Eigenständigkeit bewahrt oder sich langfristig in einer Fremdbestimmung durch Biologie (vor allem in Fragestellungen der Medizin) oder durch die Physik (vor allem in Fragestellungen der Materialwissenschaft) als hochgeschätzter, aber dienstleistender Juniorpartner wiederfindet.

Das mag kurzfristig nur als organisatorische Variante erscheinen, ist aber m. E. langfristig von erheblicher Bedeutung für unsere Fähigkeit, mit den Problemen der stofflichen Welt, ihrer Strukturen und den Prozessen ihrer Veränderungen kreativ und ergebnisoffen umzugehen.

Die Eigenständigkeit einer Disziplin beruht auf der Fähigkeit, originelle Themen zu definieren und zu bearbeiten, die für das Selbstverständnis und die Zukunftsfähigkeit von fundamentaler Bedeutung und inhärent dieser Disziplin zuzuordnen sind. Die Physik z. B. hat m. E. bislang am überzeugendsten bewiesen, wie man mit dieser Problematik erfolgreich umgeht und auf diese Weise enorme – auch finanzielle Potenziale – für die Grundlagenforschung, z. B. in der Teilchen- und Astrophysik mobilisiert, dabei aber die Anwendung nicht aus den Augen verliert.

Worin könnten also z. B. derartige Fragen im Bereich einer Chemie mit Zukunft bestehen? In meiner persönlichen Einschätzung sind dies u. a. die folgenden.

1. Die chemische Bindung
2. Das Geheimnis der Katalyse
3. Nicht-kovalente Wechselwirkungen
4. Chemie und Nachhaltigkeit

Dazu kurz einige Erläuterungen.

1. Die chemische Bindung liefert den Schlüssel zum Verständnis des Aufbaus der Moleküle aus den Atomen und zur Stabilität der so gewonnenen Struktur. Die Ansätze, derartige Bindungen ohne Kenntnis experimenteller Daten, d. h. ab initio auf quantenmechanischer Grundlage bezüglich ihrer Stärke und Länge zu berechnen, sind bisher bei sehr kleinen Molekülen stecken geblieben. So ist der Chemiker in der Realität weitgehend auf semi-empirische Methoden angewiesen, die vieles, was existiert, erklären können, aber verlässliche Voraussagen ins Neuland nicht liefern können. So ist auch heute die chemische Literatur voll von überraschenden Befunden zur Existenz von Bindungen, ihrer Bindungslänge, der Koordinationszahl etc. Das mag zwar sehr lebendig erscheinen, ist aber auf Dauer kein wissenschaftlicher Zustand. In dieser Frage eine solide und breiter anwendbare theoretische Basis zu schaffen, ist für mich eine Kardinalfrage der Chemie. Dies gilt im übrigen in noch stärkerem Maße für die Probleme der Kinetik chemischer Reaktionen.

2. In der Praxis der chemischen Synthese sehen die Reaktionsgleichungen häufig sehr einfach aus, in Wahrheit bedarf es sehr häufig des Einsatzes eines Katalysators, der definitionsgemäß in der den Umsatz beschreibenden Gleichung nicht auftritt, für die Richtung und Geschwindigkeit der Reaktion aber von unverzichtbarer Bedeutung ist. Struktur und Wirkungsweise dieser Katalysatoren sind aber in der Regel so komplex, dass der wahre Reaktionsablauf ein Geheimnis bleibt. Die Suche nach neuen Katalysatoren ist daher – ebenso wie bei hochwirksamen Medikamenten – ein Glücksspiel, aufwändig an Zeit und Material und entsprechend selten erfolgreich. Bei manchen Ansätzen der Katalysatorforschung z. B. sogenannter „Kombinatorischer Chemie“ wird man eher an Alchemie als an Chemie erinnert. Grundlagenforschung in Theorie und Experiment, auch an praxisnahen Systemen, ist notwendig, um mehr Licht und Treffsicherheit in das Dunkel zu bringen, welches das Geheimnis der Katalyse einhüllt.
3. Die chemischen Prozesse finden – vom Weltraum abgesehen – nicht im luftleeren Raum statt, sondern in der Regel in Systemen mit hoher materieller Dichte, d. h. im Gasraum unter Druck oder in der Lösung oder Schmelze. Moleküle stehen somit, z. B. mit einem Lösungsmittel, in enger, aber unspezifischer, mit Reaktionspartnern in spezifischer Wechselwirkung. Diese nicht-kovalenten, d. h. schwachen Wechselwirkungen haben aber auf das Reaktionsgeschehen oft einen starken Einfluss. Dennoch sind Phänomene der Solvation, der Mischbarkeit, der Assoziation bis hin zur spezifischen Wirkung nur unzureichend erforscht. Die Supramolekulare Chemie nimmt sich inzwischen eines Teils dieser Fragestellungen mit Blick auf spezifische Wechselwirkungen mit Erfolg an, ein ähnlicher Impuls in Richtung der unspezifischen Wechselwirkungen wäre zu wünschen.
4. Das Stichwort „Chemie und Nachhaltigkeit“ klingt nach Politik, ist aber für eine Wissenschaft, die Ernst machen will und muss mit einer Verankerung in der Gesellschaft von großer Bedeutung. Es muss erkennbar werden, dass das, was die Chemie und die Chemiker wollen, mit den Anforderungen des Erhalts der Lebensgrundlagen für zukünftige Generationen in Einklang gebracht werden kann und dass gerade die Chemie essentielle Beiträge, z. B. zum Klimaschutz, zu leisten vermag.

Ein Rückblick auf die vier genannten Themen macht wohl auch dem weniger Eingeweihten klar, dass sich diese nicht an dem eingespielten Schema „Analytik oder Synthese“ bzw. der beliebten, aber in der Forschung schon überholten Klassifikation in „anorganische, organische, physikalische, technische Chemie etc.“ orientieren. Es handelt sich vielmehr um klassische Querschnittsfragen, für die alle Chemie-Bereiche zuständig sind. Aber eines wird m. E. deutlich, dass sich die Chemie verstärkt um ihre theoretische Basis bemühen muss, um letztlich dem Anspruch gerecht zu werden, zu den exakten Naturwissenschaften zu gehören und den Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens und der Umwandlung der Stoffe auf der Spur zu sein. Dies ist gleichermaßen ein starkes Plädoyer für eine Grundlagenforschung, die nicht am Erfolg des Technologie-Transfers oder der Unternehmens-Ausgründung gemessen wird, sondern am Wissensfortschritt per se.

Ein derartiges starkes Engagement in einer eigenständigen, auf die Fortentwicklung der eigenen Wissenschaft in ihren Fundamenten ausgerichteten Grundlagenforschung schließt den Schritt zur angewandten Forschung in gleichberechtigter Kooperation mit Partnern der Biologie und Medizin, der Physik und den Ingenieurwissenschaften sowie der chemischen Industrie – wie immer sie organisiert sein mag – nicht aus.

Eine in ihrer grundlegenden Kompetenz gestärkte Chemie wird sogar ein besserer Partner sein, um die anspruchsvollen Ziele der Anwendung am Menschen und in der Technik gemeinsam zu erreichen.

In der Frage, wie es möglich wäre, der Chemie zu einem Anschub in Theoretisierung zu verhelfen, können wir vielleicht von der Biologie lernen: Im Sog, oder besser im Rausch der Erfolge des Human Genom Projects hat die Bundesregierung ein millionenschweres Programm etabliert, um an mehreren Hochschulen gleichzeitig neue Studiengänge und Fachzentren „Bioinformatik“ einzurichten und gleichzeitig jeweils mehrere Professorenstellen auszubringen. Sieht man von den Problemen ab, dass es neben einer äußerst lückenhaften Definition des Begriffs „Bioinformatik“ noch wenig einschlägig ausgewiesene Bioinformatiker gibt, ist dies doch eine einmalige Chance für die Biologie, eine theoretische Basis zu erhalten.

Angesichts des enormen Faktenwissens, das sich in der Chemie über die Jahrzehnte angesammelt hat, wäre vielleicht zum einen auch der Ruf nach einer „Chemie-Informatik“ kein untauglicher Ansatz. Zum anderen sollte eine verstärkte Kooperation mit der theoretischen Physik wichtige Impulse vermitteln können. Letzten Endes dürfen sich die Chemiker, ähnlich wie die Physiker und Elektrotechniker, aber nicht zu schade sein, sich mit mathematisch anspruchsvollen, theoretischen Methoden zu befassen. Vielleicht schlägt der Computer dabei geeignete Brücken.

Mit Blick auf meine Titelfrage

„Chemie ist Leben – (über)lebt die Chemie?“

möchte ich in geringer Abwandlung die oben zitierten Worte von Justus von Liebig aus dem Jahr 1844 zu meinen eigenen machen: Möchte es mir mit diesem Vortrag gelungen sein, „die Überzeugung zu befestigen, daß die Chemie als selbständige Wissenschaft eines der mächtigsten Mittel zu einer höheren Geisteskultur darbietet, daß ihr Studium nützlich ist, nicht nur insofern sie die materiellen Interessen der Menschen fördert, sondern weil sie Einsicht gewährt in die Wunder der Schöpfung, welche uns unmittelbar umgeben, an die unser Dasein, Bestehen und unsere Entwicklung aufs engste geknüpft sind.“

Das zum „Jahr der Chemie“ gekürte Jahr 2003 wäre dann eine Gelegenheit, eine derartige Botschaft auch in die Öffentlichkeit zu tragen.

Dabei muss es allerdings um mehr gehen, als auf das schöne Motto „Chemie ist Leben“ als Abbild einer heilen Welt zu bauen.

Das „Jahr der Chemie“ bietet vielmehr die Chance, dass sich die Chemiker – auf dem Weg zur Präsentation ihrer Sache in der Öffentlichkeit – auch ihrer eigenen Position entsinnen und ihre Zukunft reflektieren.

Dann sollte es ihnen gelingen, nicht nur fertige Problemlösungen zu „verkaufen“, sondern das Problembewusstsein zu vermitteln, 1. dass die Chemie im naturwissenschaftlichen Bildungskanon ihren festen Platz haben muss und 2. dass es auch in Zukunft wissenschaftliche und technische Fragestellungen geben wird, bei denen auf Antworten aus der Chemie nicht verzichtet werden kann.

„Chemie ist Leben“ ist kein schlechtes Motto  
– aber wichtiger ist, dass die Chemie lebt –  
auch in Zukunft.

---

Prof. Dr.rer.nat. Joachim Klein  
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft  
Hühnerkamp 21 · D-38104 Braunschweig